

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 2013 年 6 月 12 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700860

研究課題名（和文） 非侵襲脳活動測定による高齢者の生活支援を目的とした意思伝達用  
インタフェースの開発

研究課題名（英文） Development of the Interface for Conveying Elderly People's Intention  
with Non-Invasive Measurements of Human Brain Activity

研究代表者

浅野裕俊（ASANO HIROTOSHI）

香川大学・工学部・助教

研究者番号：70453488

研究成果の概要（和文）：

本研究では、発話や四肢体動による意思伝達機能を失った重度の要介護者と介護者のコミュニケーション支援を目的として、安全、安価、容易に測定可能な酸素化ヘモグロビン濃度変化を利用した心理状態の自動推定手法を提案した。具体的には、生理計測を行い、同時に取得した心理結果との関係性から被験者の心理状態を客観評価した。そして、生理心理評価結果に基づき、対象者の心理状態を酸素化ヘモグロビン濃度から自動推定する手法を提案し、評価を行った。実験の結果、対象者の感情や行動意思、嗜好を客観評価できる可能性を示した。また、ベイジアンネットワーク及び階層型ニューラルネットワークによる推定手法によって心理状態を自動推定できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of the research is support of communication with a person requiring care and a care worker. Oxygenated hemoglobin concentration can be measured easily and is safe and relatively cheap. We proposed the technique of presuming a candidate's psychological condition automatically using the feature. We performed physiological measurement and evaluated objectively the subject's psychological condition from the relation of a psychological state and a physiological state. Based on the result of the evaluation, we proposed the technique of presuming a candidate's psychological condition automatically from oxygenated hemoglobin concentration and evaluated it. The result of the experiment showed a possibility that a candidate's emotions, the intention of action, and taste could be evaluated objectively. We showed a possibility that a subject's psychological condition could be automatically presumed by bayesian networks and neural network.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：近赤外分光法，酸素化ヘモグロビン濃度

## 1. 研究開始当初の背景

2050年、日本における65歳以上の人口の割合は35.7%に達するといわれており、それに伴い発話や四肢体動による意図伝達機能を失った重度の要介護者の増加が見込まれる。家族や施設スタッフに意思を伝えるためには身体的・精神的苦痛に対する客観的な判断が必要であることから、要介護者と介護者の円滑なコミュニケーションを支援する意思伝達機器の開発は日常生活を支える重要な課題である。

申請者らは、これまで実用的な意思伝達手法の開発を目的として、酸素化ヘモグロビン濃度に着目し、様々な環境下・状況下におけるヒトの生理状態と心理状態との関係性について明らかにしてきた。現状の酸素化ヘモグロビン濃度の利用は、主に精神疾患の鑑別などの臨床検査が多く、コミュニケーション支援を目的とした研究は殆ど行われていなかった。

本研究では、安全、安価、容易に測定可能な酸素化ヘモグロビン濃度を利用して、発話や四肢体動による意思伝達機能を失った重度の要介護者と介護者のコミュニケーション支援を目的とした意思伝達用インタフェース技術の開発を行う。

## 2. 研究の目的

本研究では、高次情報処理機能である脳に着目し、感情などの情報を処理する前頭葉における酸素化ヘモグロビン濃度を利用して、脳活動状態から被験者の意思を自動推定することでコミュニケーションを支援するための技術を開発することを目的としている。

酸素化ヘモグロビン濃度を非侵襲に計測する手法として近赤外分光法がある。近赤外分光法は、近赤外光を用いて血液中の酸化ヘモグロビンと脱酸化ヘモグロビンの変化量を測定する手法である。脳の情報処理において神経活動が担う情報伝達系と神経活動を支えるエネルギー供給系が関係していると考えられている。神経活動によって周囲の血管は拡張し、エネルギー源となる酸素やグルコースを含む多くの動脈血を供給する調整機構が働く。そして、活動神経近傍の組織では、血流量・血液量が増大し、血液の酸化状態が変化するとされている。このような神経活動と脳血液反応の関係が存在するという仮定に基づいて、近赤外光により脳の局所ヘモグロビン濃度を計測している。この指標は実際に情報を処理している神経活動そのものの表れではないものの間接的な脳機能の指標となりうる。

本研究では、近赤外分光法を利用して酸素化ヘモグロビン濃度変化を生理計測し、同時に取得した心理結果との関係性から被験者

の心理状態を客観的に評価する。また、生理心理評価結果を基に酸素化ヘモグロビン濃度から自動推定する手法を提案し、評価を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験環境

実験は電磁シールドルーム（幅3.8m×奥行き3.1m×高さ3.1m）で行う。室温は $22.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、照度約200lx、室内は無風である。被験者の右隣位置に光脳機能イメージング装置（島津製作所製FOIRE-3000）を設置し、酸素化ヘモグロビン濃度変化量（以下、 $\Delta\text{oxyHb}$ とする）を計測する。計測チャンネルと計測位置を図2に示す。計測位置は照射位置と検出位置の midpoint となる。頭部ホルダーは前頭葉部に合わせて装着する。照射用プローブと検出用プローブを30mm間隔で各チャンネルに装着する。

### (2) 実験条件

被験者には実験環境への慣れを考慮し、入室から20分以上経過後に実験を開始する。実験時間は起床後4時間以上経過している時間帯に行い、前日の睡眠は8時間程度摂っている事を条件とする。禁止事項は実験2時間前の食事・喫煙・カフェインの摂取、当日の過度な運動とする。

### (3) 実験スケジュール

#### ① 不快感情の計測スケジュール

課題は音聴取課題とし、Taskは60秒間の不快音（70dBのスクラッチ音）聴取期間とする。それ以外は評価用Restも含めコントロールレストとしてホワイトノイズ聴取期間とし、全実験時間は5分とする。実験中は閉眼安静で座位とする。また、Visual Analog Scale（以下、VASとする）の記入は評価用RestとTaskの終了直後に行う。また、RestとTaskの各状態を定常に近い状態で評価するために、被験者の内省報告を踏まえて、RestとTaskの各状態において20秒以降のデータを解析対象とする。1人の被験者に対し、試行回数は1回とする。

#### ② 喜-哀感情の計測スケジュール

課題は音聴取課題とし、明るい曲（エンディングテーマ）及び悲しい曲（ナウシカ・レクイエム）を交互に聴取する。また、各課題の前後にホワイトノイズを聴取する。尚、被験者には感情をより誘起させやすくするため、実験前日に曲に関連する映画「風の谷のナウシカ」を視聴させる。順序効果による影響を考慮し、2種類の音聴取課題は別日に行う。ホワイトノイズ聴取時間を30sec、課題聴取時間を40secとする。実験時間は合計210secである。音聴取時は安静閉眼状態とす

る。また、実験後に VAS を行い、各刺激に対する喜-哀感情を心理評価する。

### ③発語及び筆記の計測スケジュール

発語及び筆記時における脳活動を計測するため、被験者にかな(あ、い、う、え、お)を発語のみ、筆記のみ、発語と筆記同時という3種類の課題を行う。各時間とも20secとする。また、各課題の前後に安静時間を設ける。実験時間は合計500secとし、各被験者に対して2回の実験を行う。

### ④快-不快感情の計測スケジュール

課題は音聴取課題とし、快音(アルバム「自律神経にやさしい音楽」収録曲)及び不快音(スクラッチ音)を交互に聴取する。また、各課題の前後にホワイトノイズを聴取する。本課題は予備実験において快-不快感情を誘起することが明らかになっていることから使用する。各課題聴取時間は60secとする。またVASの記入は各ホワイトノイズ聴取開始から20秒後とする。実験時間は合計13分である。試行回数は7回とする。

#### (4) 酸素化ヘモグロビン濃度の評価指標

刺激に対する変化分のみを抽出するため、課題開始時を基準としてベースライン補正した後、各課題時における $\Delta\text{oxyHb}$ の平均値 $\Delta\text{oxyHb-ave}$ を算出する(図1参照)。また、発語及び筆記に関しては、平均値を算出後、課題に対する変化量以外の要因を除去するために、発語時・筆記時の $\Delta\text{oxyHb-ave}$ から発語と筆記を同時に行ったときの $\Delta\text{oxyHb-ave}$ の差分をとり、評価指標とする。不快情動に関しては、カオスの特徴である初期値鋭敏性を表すリアプノフ指数を評価指標とする。

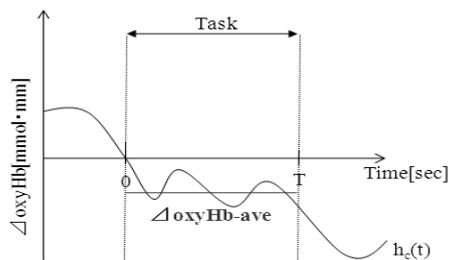


図1 評価指標

#### 4. 研究成果

まず、リアプノフ指数解析による不快感情の評価結果について述べる。図2に心理指標の結果を示す。閉眼安静状態のRest及び不快音聴取状態のTaskの後に測定した心理量を比較したところ、Task後では不快感が増加する傾向が見られた。またRestとTask間においてt検定を行ったところ、1%水準で有意差が確認された。この結果から、不快音聴取時の心理的不快感は閉眼安静状態と比較して有意に大きいことがわかった。次に、生理

指標の結果を示す。RestとTaskそれぞれにおける $\Delta\text{oxyHb}$ の時系列変化からアトラクタの再構成を行った。埋め込み次元10、時間遅れの大きさ55msとするアトラクタを再構成した。平面的に見るため、埋め込み次元を2とした場合における7chのアトラクタの一例を示す(図3参照)。 $X_n$ は時刻tにおける $\Delta\text{oxyHb}$ の時系列データ、 $X_{n+1}$ は時刻(t+時間遅れ $\delta$ )における $\Delta\text{oxyHb}$ の時系列データである。Task時のアトラクタ形状はRest時よりも広がり小さく、また収束傾向にある。前頭葉は思考や感情の抑制に関する部位であると言われており、また不快情動喚起時において脳活動は低下するという知見もあることから、不快情動喚起に伴う脳活動の低下とカオス性、複雑さの減少には関連性があると考えられる。図4に各chでのRestとTaskのリアプノフ指数を示す。いずれのchにおいてもリアプノフ指数は正の値を示した。また、Task時のリアプノフ指数はRestに比べて小さい傾向にあった。RestとTask間でt検定を行った結果、2~7chにおいて5%水準で有意差があった。この結果から、前頭前野における $\Delta\text{oxyHb}$ のリアプノフ指数によって不快情動刺激に伴う生理的变化を捉えていることがわかった。リアプノフ指数と心理指標に相関性があり、かつ有意差があったchを調べた結果、7chが該当した。この結果から、7chにおける $\Delta\text{oxyHb}$ から算出したリアプノフ指数によって感情を定量評価できる可能性を示した。

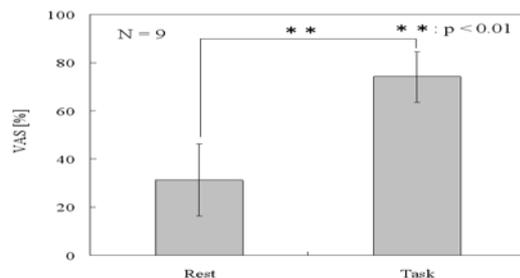


図2 心理評価結果

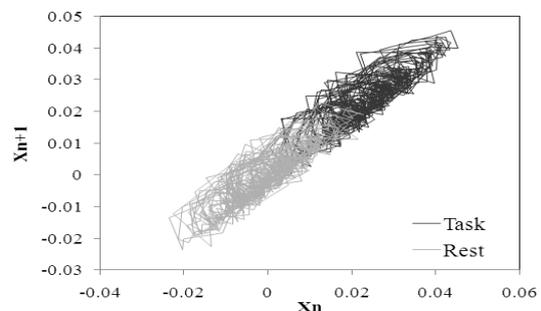


図3  $\Delta\text{oxyHb}$  から再構成したアトラクタ

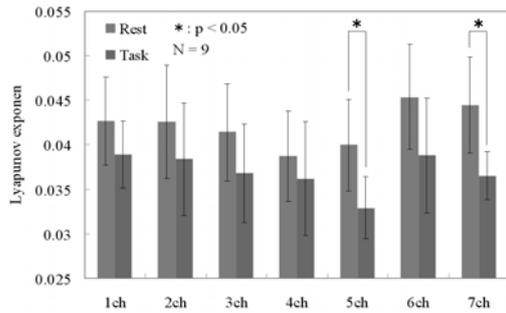


図4 リアプノフ指数による評価結果

次に、喜-哀感情の評価結果について述べる。図5に明るい曲聴取時および悲しい曲聴取時における心理評価結果を示す。明るい曲聴取時におけるVASは悲しい曲聴取時におけるVASに比べて高いことがわかる。t検定を行ったところ、明るい曲聴取時及び悲しい曲聴取時との間に有意水準5%で有意差がみられたことから、各刺激に伴って喚起される心理的感情には違いがあることがわかる。そこで、喜-哀感情を客観評価できる可能性のある脳部位を検討するため各Chにおける $\Delta$ oxyHb-aveを用いてt検定を行った。その結果、右上部近傍のCh2と正中部のCh17, 23, 30において有意水準5%で有意差があった。図5に心理指標と生理指標の関係の一例を示す。VASと $\Delta$ oxyHb-aveの関係について検討したところ、相関係数はCh2の場合-0.41, Ch17の場合-0.50, Ch23の場合-0.43, Ch30の場合-0.50と中程度の負相関となり、VASと $\Delta$ oxyHb-aveとの間に相関関係がみられた。これらの結果から、喜-哀感情を客観評価できる可能性があることがわかった。

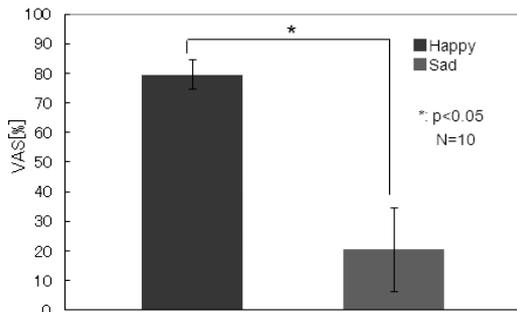


図5 心理評価結果

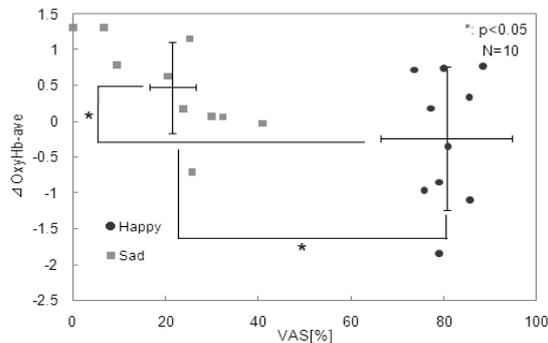


図6 生理心理評価結果(Ch17)

次に、階層結合型ニューラルネットワーク(以下、NNとする)を用いた発語及び発語に関する評価結果を示す。はじめに、各chにおいてt検定(有意水準5%と設定)を行い、発語と筆記の違いを客観評価できる可能性のあるchを検討した。その結果、左上部近傍のチャンネル(ch1, ch3, ch7, ch14)において有意差が確認された。図7に発語時と筆記時の生理評価結果を示す。有意差の確認されたch1, ch3, ch7, ch14では、発語時と比較して、筆記時の方が大きくなるという傾向がみられたことから、発語動作と筆記動作の差異は生理指標により客観評価できる可能性があることがわかった。そこで、発語動作と筆記動作において有意差が確認されたch1, ch3, ch7, ch14の生理指標をNNの入力層に入力し、発語時及び筆記時における脳活動から行動状態を推定する。各チャンネルにおける生理指標を説明変数、行動状態(発語時を「1」、筆記時を「0」とする)を目的変数(教師信号)として、入力パターンに対して望ましい出力がされるように誤差逆伝播法により各ニューロン間の結合係数を変更する。ニューロンの出力関数はシグモイド関数を用いる。学習が終了したNNを用いて入力層(X1, X2...)に与えられた発語時及び筆記時の生理指標から行動推定する。なお、全被験者の1回目のデータを学習用のデータとして用い、各被験者2回目の実験データを推定用のデータとして用いた。学習では誤差水準が0.5%に達するまでバックプロパゲーション法により出力と理想的な出力(教師信号)を比較することにより出力側から入力側に向かって逆向きに結合荷重を修正する学習を繰り返し行った。被験者別にみた許容誤差5%における推定率の結果を図8に示す。横軸を被験者、縦軸を推定率とし、グラフ中の数字は被験者別の推定率を表している。被験者A, C, F, Gの推定率は62.5%, 被験者B, Eの推定率は75.0%, 被験者Hでは推定率100%となった。一方、被験者Dは推定率37.5%となり、他の被験者に比べて低い推定率となった。これは被験者Dが本実験の中で唯一の左利き者であることに関係していると考えられる。言語機能を司る言語野は脳の左右両半球に存在するが、通常左右のどちらか一方のみの言語野がその機能を果たすとされている。また、Branchらの研究結果によると、右利き者と左利き者では言語野の優位半球が異なる場合があるとしている。そこで、被験者Dのデータを除外し、残りの被験者のデータを用いて評価したところ、右利き者である全被験者の平均推定率は71.4%となったことから、本手法によって発語動作と筆記動作の差異を推定できる可能性を示した。

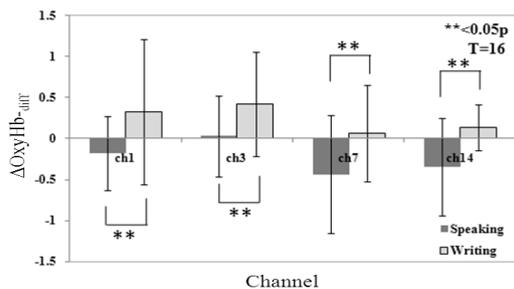


図7 生理評価結果

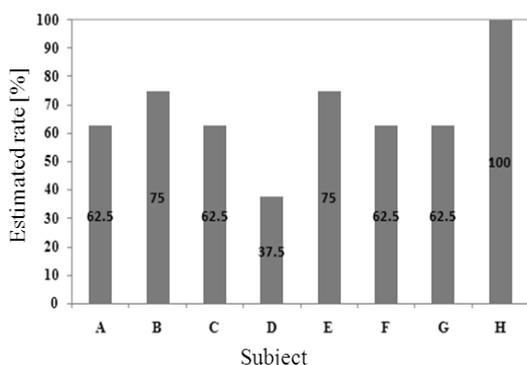


図8 推定結果

最後に、ベイジアンネットワークを利用した快-不快感情における評価結果について述べる。実験の結果、快刺激時における $\Delta$ oxyHbにはわずかな減少が確認された。一方、不快刺激時においても $\Delta$ oxyHbの減少がみられたが、快刺激時の脳活動箇所と比較するとその箇所は異なっていた。快感や不快感などの情動は大脳辺縁系、特に扁桃体と密接な関係があり、思考や判断を司る前頭葉部の活動抑制と亢進にも影響を与えるといわれている。つまり、 $\Delta$ oxyHbの減少は扁桃体を中心とした大脳辺縁系の活動亢進によって近傍部位への血液流出が起き、その影響から前頭葉部の一部に $\Delta$ oxyHbの減少が起きたものと考えられる。そこで、両刺激における $\Delta$ oxyHbの差異を評価するため、各Chにおける快刺激時及び不快刺激時の $\Delta$ oxyHbaveを用いてt検定を行った。その結果、Ch2、Ch28において有意差があった(有意水準 5%未満)。各Channelにおける $\Delta$ oxyHbaveとVASとの関係について検討した結果、各Chともに快刺激時の $\Delta$ oxyHbaveは不快刺激時の $\Delta$ oxyHbaveよりも全体的に高い傾向となった。また、VAS及び $\Delta$ oxyHbaveで相関係数を算出したところ、Ch2の場合は0.55、Ch128の場合は0.66となり、ともに中程度の正相関となった。他の被験者に対しても同様の方法で、有意差があり且つ中程度の正相関を持つChを検討したところ、表1のような結果となった。これらの結果は $\Delta$ oxyHbによって快感及び不快感を客観評価できる可能性を示唆

している。そこで、ベイジアンネットワークを用いて情動の推定モデルを構築した。VASの快音聴取時と不快音聴取時でt検定を行い、 $\Delta$ oxyHbに有意差があったチャンネルの時系列データを使用した。生理量はTask間の $\Delta$ oxyHbの平均値( $\Delta$ oxyHb-ave)を用いた。心理量は「uncomfortable(0-33%)」「normal(34-66%)」「comfortable(67-100%)」の3状態に分類する。リファレンスデータから各状態の頻度を算出し、各状態におけるグラフ構造と条件付確率を求めてベイジアンネットワークを構築した。ノード間の依存関係判定に情報量基準AICを用いた。試行回数は1人あたり10回行い、7試行分をモデル構築のためのリファレンスデータ、3試行分を推定するための評価用データとした。構築したモデルから評価用データに対してベイズ推定を行った。推定結果と実際に測定したVASの状態とを照らし合わせ、その一致数から推定率を求めた結果、推定率は平均67%となった(図9参照)。この結果から、本手法によって快-不快感情を推定できる可能性を示した。

表1 有意差があった箇所

	Channel				
	Subject A	2	28		
Subject B	3				
Subject C	2	6	9		
Subject D	2	4	9	15	18

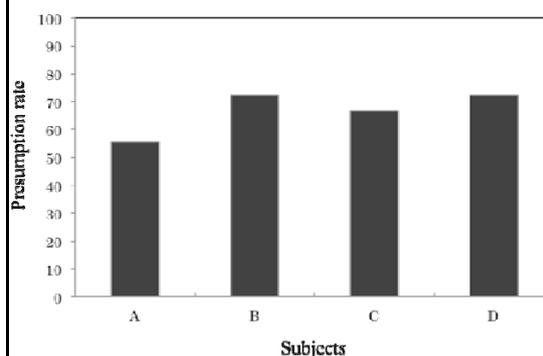


図9 推定結果

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

1. 浅野裕俊, 熊谷淳, 井出英人, 「カオス解析を用いた不快情動喚起時の脳活動評価」, 日本生体医工学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 962-967, 2011.
2. 浅野裕俊, 佐上高則, 尾形理人, 井出英人, 「非侵襲脳活動計測に基づく喜-哀感情の客観評価」, 電気学会論文誌 A, Vol. 132, No. 11, pp. 1077-1078, 2012.
3. 浅野裕俊, 鈴木浩章, 井出英人, 「近赤外分光法を用いた発語及び筆記に関する脳活動評価」, 電気学会論文誌 C, Vol. 132, No. 6, pp. 947-951, 2012.

〔学会発表〕(計6件)

1. 浅野裕俊, 井出英人, 「近赤外分光法を用いた嗜好評価の可能性」, バイオメカニズムシンポジウム, 阿蘇ファームランド, 2011.
2. 浅野裕俊, 中込正樹, 井出英人, 「カオス解析を用いた快-不快情動の定量評価」, 電子情報通信学会 ME とサイバネティクス研究会, 長岡技術科学大学, 2011.
3. Hirotoashi Asano, Takanori Ssagami, Hideto Ide, "The evaluation of the emotion by NIRS", Artificial Life and Robotics, Oita, 2012.
4. 浅野裕俊, 野澤明雄, 水野統太, 中込正樹, 井出英人, 「生体情報に基づく不快感の客観評価手法の提案」, ヒューマンインタフェースシンポジウム, 九州大学, 2012.
5. 水野統太, 浅野裕俊, 野澤明雄, 「脳・神経系活動に基づく“嗜好”の可視化とHMI応用への展望」, 日本感性工学会而立の会研究会, 京都産業大学, 2012.
6. 蜂谷委子, 浅野裕俊, 野澤明雄, 「近赤外分光法を用いた音楽の嗜好評価」, ライフサポート学会フロンティア講演会, 慶応大学, 2013.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅野裕俊 (ASANO HIROTOSHI)

香川大学・工学部・助教

研究者番号: 70453488